

差動変圧器式直径ひずみエクステンソメーター付 真応力制御疲労システムについて

(昭和58年11月30日 原稿受付)

機械工学教室 遠 藤 達 雄
同 坂 本 春 雄

On a Closed-Loop Electro-hydraulic System for True Stress Control Fatigue Test Utilizing DTF Type Diametral Strain Extensometer.

by Tatsuo ENDO
Haruo SAKAMOTO

Abstract

A diametral strain measuring apparatus of differential transformers type for low cycle fatigue test, and a true stress control closed loop electro-hydraulic fatigue test system are reported. The true stress is calculated by a micro-computer from load and diametral displacement signals, and is used as feedback signal of the test system.

1. まえがき

低サイクル疲労での繰返し引張・圧縮の実験は、一般に荷重制御またはひずみ制御等で行なわれている。しかし、平均応力が作用する場合、ひずみの繰返し

に伴い試験片に一方方向の伸びまたは縮みが発生し、これらが疲労強さまたは疲労被害に対してどの様に影響を及ぼすかこれまで明確でなかった。

そこでこの研究のために試験片の断面の変化を疲労試験中に連続的に測定できる差動変圧器式のひずみ測定器

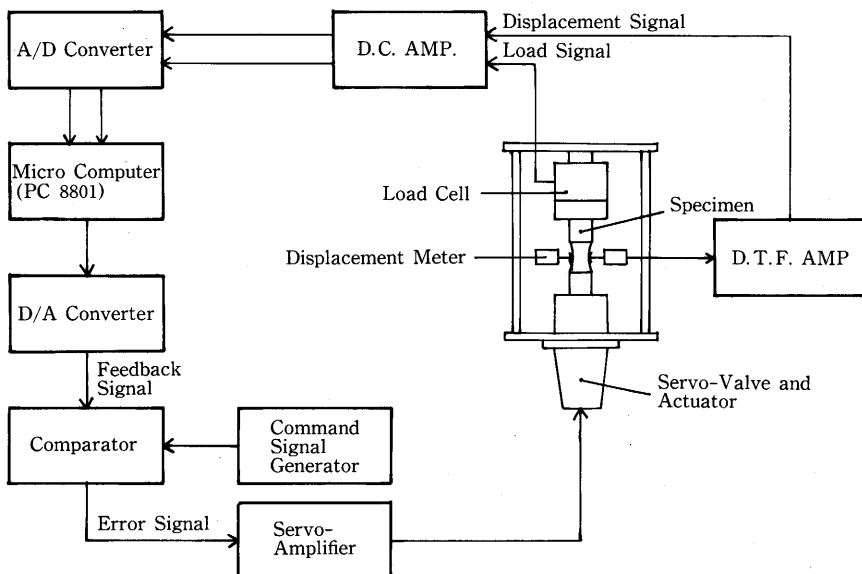


図-1 真応力制御閉ループシステムブロック線図

及び試験片取り付け装置を試作し、この出力と荷重の出力とをマイクロコンピュータを使って処理して真応力で制御するシステムを開発した。

2. 真応力制御システムの概要

図1に、真応力制御電気油圧式閉ループシステムのブロック線図を示す。

ロードセルで測定される荷重と差動変圧器で測定される直径方向変位量のアナログ信号をAD変換し、マイクロコンピュータ(PC8801)によって、真応力 $\sigma = P/A$ (P : 試験片に作用する荷重, A : 負荷時の断面積) を算出する。両アナログ出力信号のレンジフルスケールは、それぞれ $\pm 1V$ であるが、AD変換器の取り込み可能な電圧範囲は $\pm 5V$ のバイポーラ形なので両信号の電圧を5倍にD.C.増幅してAD変換器に取り込む。

デジタル量に変換された荷重と変位の信号をもとに、コンピュータによって計算された真応力は、DA変換器によってアナログ量に変換され、制御装置へ帰還信号として入力される。

帰還信号と発信器の設定信号とは制御装置内のコンパレータによって比較され、誤差信号をサーボコントローラに送り、それによって圧力油をアクチュエータに誘導

し、ピストンロッドを駆動させて試験片に負荷を与える。以上の様にして閉ループを形成する。

なお制御は、実時間で行なうため、機械語を使用した。次に個々の装置についての説明を簡単に行なう。

2-1. 試験機と制御装置

写真-1に試験機本体を示す。

試験機構造部分は、九州工大機械にて設計したものである。試験機上部に設置されたロードセルL(東洋測器、容量10t)と抵抗線歪計で、荷重が電圧信号として得られる。

写真-2は、制御装置(島津サーボペット Lab-5)である。

帰還信号の選択が可能で、補助入力端子に制御する帰還信号をフルスケール $\pm 1V$ で入力すれば変動信号の大きさと平均値を設定することができる。

2-2. ひずみ測定装置

写真-3に示すひずみ測定装置は、九州工大機械工学科材料力学研究室で著者が設計試作したものである。

差動変圧器D(新光電気、測定範囲 $\pm 0.05mm \sim \pm 0.5mm$)により直径方向の変位量を電圧信号に変える。ここでひずみ測定装置は、2個の差動変圧器を使用して和計測を行なうようになっている。

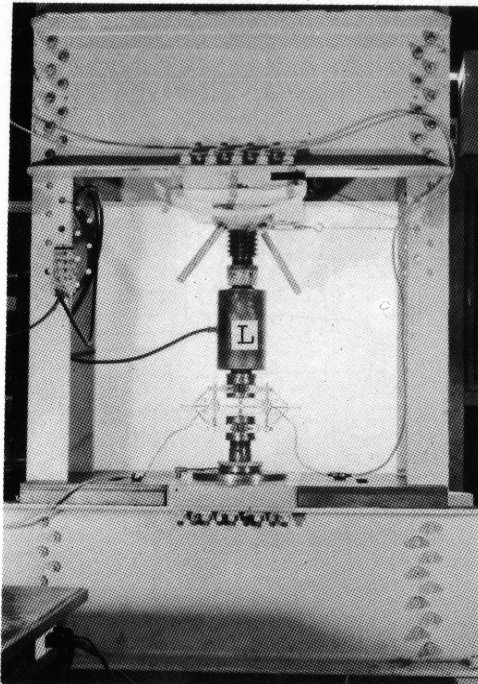


写真-1 試験機本体

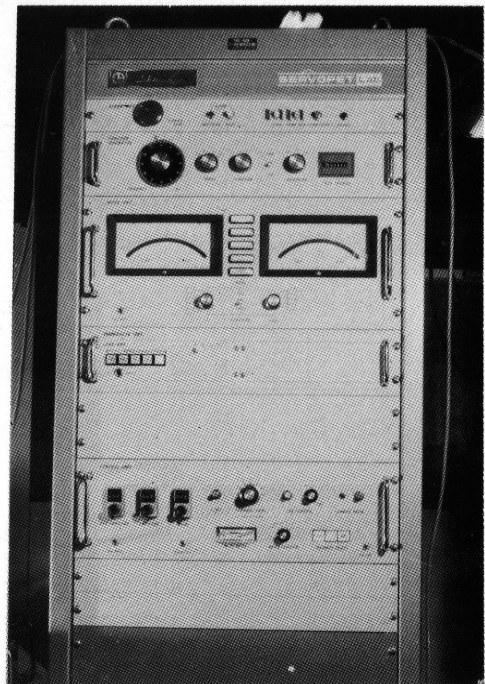


写真-2 制御装置

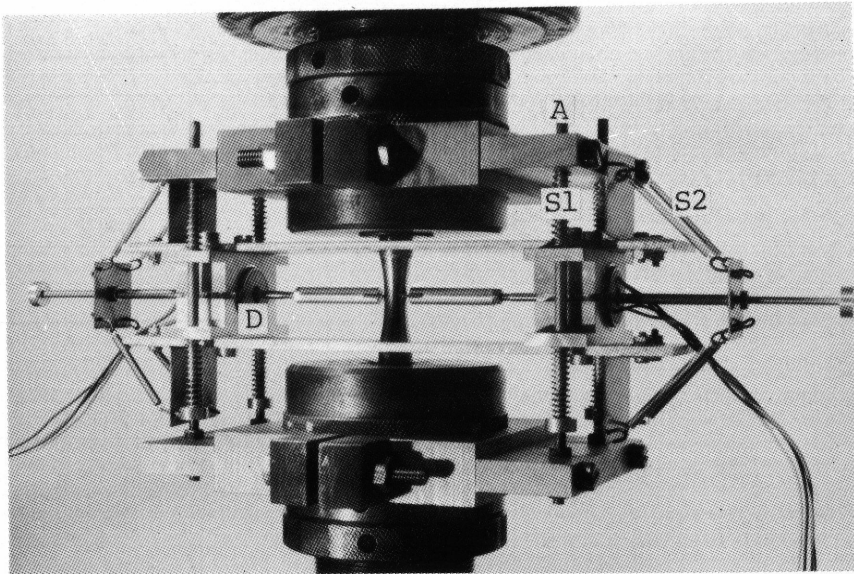


写真-3 ひずみ測定装置

写真に示す様に4本のコイルばね S1 をアルミ棒 A に通し、差動変圧器をはさむことによって試験片が縦方向に伸縮しても絶えず試験片中央に測定箇所が位置するようにしている。

また、直径方向の変化に差動変圧器の鉄心へつながっている試験片接触部が付いていくように4本のコイルばね S2 で押え付けている。

ひずみ測定装置のキャリブレーションは、薄い顕微鏡用レプリカを試験片接触部に1枚ずつはさみ、最小目盛 $10\mu\text{m}$ のダイヤルゲージを鉄心の延長上に置いて行なったが、差動変圧器の読みとダイヤルゲージの読みは、キャリブレーション中、常に最小目盛の範囲内で一致した。

また時間の推移によるドリフトの影響 ($1.25\mu\text{m}/\text{日}$) は小さく、低サイクル疲労試験のためのひずみ計としては充分安定していると思われる。

2-3. AD 変換器, DA 変換器

AD 変換器, DA 変換器は、マイクロサイエンス社の8チャンネル差動入力12ビット AD, DA コンバータを使用した。

表-1にそれぞれの仕様を示す。

AD, DA 変換器は、バイポーラ ($\pm 5\text{V}$) の入出力でを使用した。

12ビットバイナリであるため $-5\text{V}\sim+5\text{V}$ が $0\sim 4095$ の数値に対応し、1 digit は 2.5mV に相当する。

表-1 8チャンネル差動入力12ビット AD, DA コンバータの仕様

AD 変換器 (DAS-2812APC)

アナログ入力: $0\sim\pm 10\text{V}$ 差動, 8チャンネル ($\pm 5\text{V}$ に変更可能)
 デジタル出力: 12ビットバイナリ
 入出力ポートアドレス: 基板上 DIP スイッチにて設定
 変換サイクル: 10000 変換/秒 以上
 非直線性: 0.05% FS 以下
 温度ドリフト: $50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以下
 使用温度範囲: $0\sim 45^\circ\text{C}$
 電源: $\pm 5\text{V}$ 0.9A ($\pm 15\text{V}$ 出力 DC/DC コンバータ内蔵)

DA 変換器 (SDA-3012APC)

アナログ出力: $0\sim\pm 10\text{V}$ ($\pm 5\text{V}$ に変更可能), 出力電流 max 5mA
 デジタルコード: 12ビットバイナリ
 入出力ポートアドレス: 基板上の DIP スイッチにて設定
 セトリングタイム: 300 micro sec
 非直線性: 0.05% FS 以下
 温度ドリフト: $60\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 以下
 使用温度範囲: $0\sim\pm 45^\circ\text{C}$
 電源: $\pm 5\text{V}$ 0.6A ($\pm 15\text{V}$ 出力 DC/DC コンバータ内蔵)

3. 真応力制御プログラム

3-1. 計算方法

真応力 σ は、 P/A で表わせるから、

$$\sigma = \frac{P}{\frac{\pi}{4}(d_0 - \Delta d)^2} \quad (1)$$

となる。ここで P は荷重, d_0 は最初の試験片直径, Δd は負荷時の直径方向の変位量である。

P (kgf) の荷重が試験片に作用し, ロードセルにつけた歪計のレンジが L_R (kgf/V) であるなら, その時に生ずるロードセル歪計からの出力電圧は, $y = P/L_R$ (V) である。

同じく, 差動変圧器式変位計のレンジが, D_R (mm/V) であるなら, Δd (mm) の変位が試験片に生じたときの差動変圧器式変位計からの電圧は, $x = \Delta d/D_R$ (V) である。

AD 変換器は 1 digit = 2.5 mV に調整されているので, ロードセル, 差動変圧器からの両アナログ信号が D.C. アンプを介して, おおの 5 倍に増幅されて送られるなら, AD 変換器からデジタル量に変換された数値は, それぞれ, $y = 2 \cdot 10^3 \cdot P/L_R$ (digit), $x = 2 \cdot 10^3 \cdot \Delta d/D_R$ (digit) となる。

よって, $P = L_R \cdot y / 2 \cdot 10^3$, $\Delta d = D_R \cdot x / 2 \cdot 10^3$ であるから, これらを式(1)に代入すると真応力 σ は,

$$\sigma = \frac{\frac{L_R}{2 \cdot 10^3} \cdot y}{\frac{\pi}{4} \left(d_0 - \frac{D_R}{2 \cdot 10^3} \cdot x \right)^2} \quad (2)$$

となる。ここで $Y = 4 \cdot L_R / \pi \cdot 2 \cdot 10^3$, $X = D_R / 2 \cdot 10^3$, d_0 は初期値としてマイコンのキーボードから入力できるようにしている。

DA 変換器によってデジタル量をアナログ量に変換するときには, 1 kgf/mm² を 4 digit に対応させて出力する。

3-2. 真応力制御プログラム

真応力制御プログラムの基本的なフローチャートを図-2に示す。

まず, 初期値 Y, X, d_0 を入力し, プログラムを実行させる。ロードセルと差動変圧器のアナログ信号を AD 変換する。

次に真応力値を算出する。

ここで加減乗除等の計算は, N₈₈-BASIC のメイン ROM に含まれるシステムサブルーチンを使用した。

真応力値は, DA 変換器によってアナログ信号に変換され疲労試験機の帰還信号となる。

真応力値は, ディスプレイに表示され, その値を見て応力振幅や平均応力を制御装置で微調整して目標の真応

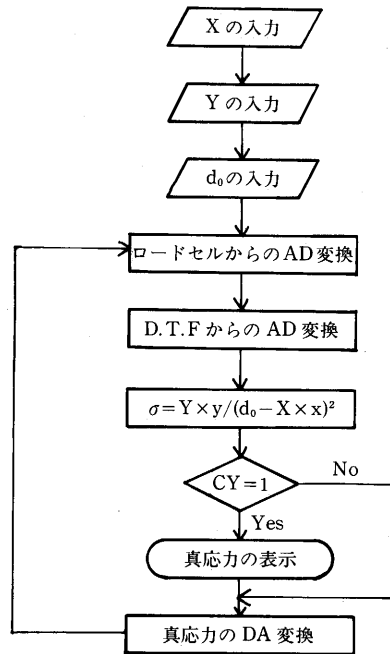


図-2 真応力制御プログラムフローチャート

力値を保持させるようにした。

以上 AD 変換から DA 変換までをおよそ 8 ms で繰り返す。

表-2 に真応力制御プログラムを示す。

4. 真応力制御による実験

図-3 に真応力制御で行なった完全両振りの Manson-Coffin 線図を示す。

なお実験に際して, 試験片固定部のグリップの締め付け時に生ずる試験片の曲げを取り除くために著者らの 1 人がイリノイ大学の Morrow 教授と共同開発した試験

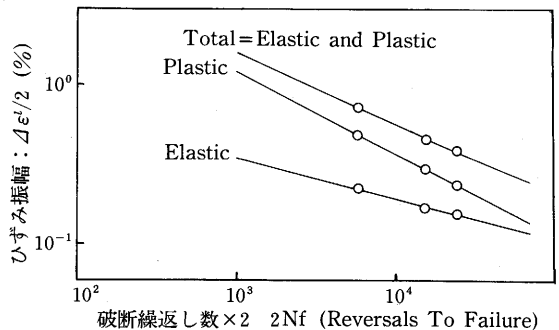


図-3 S45C (焼なまし材) の Manson-Coffin 線図

片取り付け装置（ウッドメタルグリップ）を使用した。

図-4にその装置を示す。

この装置は、低融合金ウッドメタルを溶融して試験片を入れ、一様に凝固させることによって試験取付時の曲げが起らないようにしたものである。

これによって曲げ応力は、 0.5kgf/mm^2 以内におさえられた。

5. あとがき

差動変圧器を使ったひずみ測定装置は、低サイクル疲労試験のひずみ装置として十分な安定性があり、高い再現性も認められた。そのため真応力制御による実験は十分に高い信頼性のもとに行なわれた。なお、本研究は、文部省科学研究費（昭和58年度、一般(C)）による研究の一部であり、本装置を用いた研究の成果は昭和59年度中に報告される。

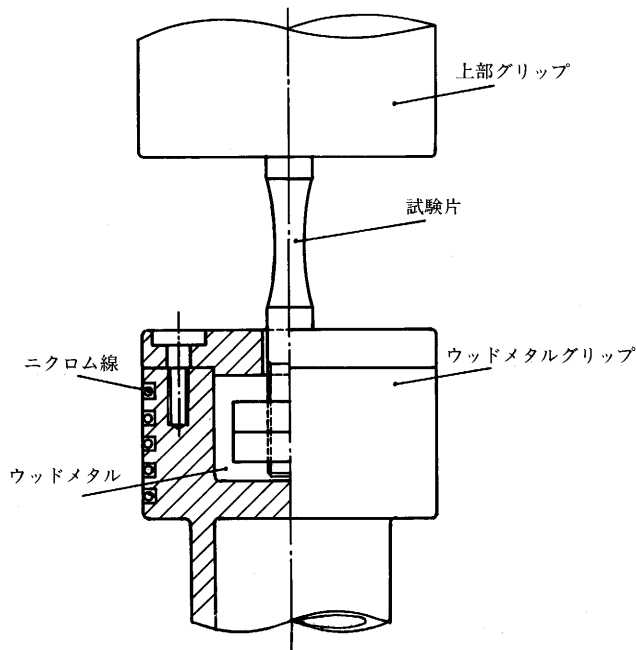


図-4 ウッドメタル・グリップ

表-2 真応力制御プログラム

```

0 *****
20 * TRUE-STRESS CONTROL PROGRAM *
30 *****
40 DEF USR=&HE000;S=USR(0)

E000 21 E192 LXI H,E192
E003 CD E168 CALL E168
E006 CD 5F92 CALL 5F92
E009 08 RC
E00A 23 INX H
E00B CD E159 CALL E159
E00E CD 26C8 CALL 26C8
E011 CD 2214 CALL 2214
E014 CD 20E8 CALL 20E8
E017 60 MOV H,B
E018 69 MOV L,C
E019 22 D160 SHLD D160
E01C EB XCHG
E01D 22 D162 SHLD D162
E020 21 E1A0 LXI H,E1A0
E023 CD E168 CALL E168
E026 CD 5F92 CALL 5F92
E029 08 RC
E02A 23 INX H
E02B CD E159 CALL E159
E02E CD 26C8 CALL 26C8
E031 CD 2214 CALL 2214
E034 CD 20E8 CALL 20E8
E037 60 MOV H,B
E038 69 MOV L,C
E039 22 D164 SHLD D164
E03C EB XCHG
E03D 22 D166 SHLD D166
E040 21 E1A8 LXI H,E1A8
E043 CD E168 CALL E168
E046 CD 5F92 CALL 5F92
E049 08 RC
E04A 23 INX H
E04B CD E159 CALL E159
E04E CD 26C8 CALL 26C8
E051 CD 2214 CALL 2214
E054 CD 20E8 CALL 20E8
E057 60 MOV H,B
E058 69 MOV L,C
E059 22 D168 SHLD D168
E05C EB XCHG
E05D 22 D16A SHLD D16A
E060 21 E1B7 LXI H,E1B7
E063 CD E168 CALL E168
E066 CD 5F92 CALL 5F92
E069 08 RC
E06A 23 INX H
E06B CD E159 CALL E159
E06E CD 26C8 CALL 26C8
E071 CD 2214 CALL 2214
E074 CD 20E8 CALL 20E8
E077 60 MOV H,B
E078 69 MOV L,C
E079 22 D16C SHLD D16C
E07C EB XCHG
E07D 22 D16E SHLD D16E
E080 CD E159 CALL E159
E083 CD 21A0 CALL 21A0
E086 3E 00 MVI A,00
E088 03 80 OUT 80
E08A CD E1C8 CALL E1C8
E08D 3E FF MVI A,FF
E08F 03 81 OUT 81
E091 0B 82 IN 82
E093 67 MOV H,A
E094 E6 80 ANI 80
E096 FA E091 JM E091
E099 0B 83 IN 83
E09B 6F MOV L,A
E09C 01 F800 LXI B,F800
E09F 09 DAD B
E0A0 22 EC41 SHLD EC41
E0A3 3E 01 MVI A,01
E0A5 03 80 OUT 80
E0A7 CD E1C8 CALL E1C8
E0AA 3E FF MVI A,FF
E0AC 03 81 OUT 81
E0AE 0B 82 IN 82
E0B0 67 MOV H,A
E0B1 E6 80 ANI 80
E0B3 FA E0AE JM E0AE
E0B6 0B 83 IN 83
E0B8 6F MOV L,A
E0B9 01 F800 LXI B,F800
E0BC 09 DAD B
E0BD 22 D170 SHLD D170
E0C0 CD 2214 CALL 2214
E0C3 2A D160 LHLD D160
E0C6 44 MOV B,H
E0C7 40 MOV C,L
E0C8 2A D162 LHLD D162

E0C8 EB XCHG
E0CC CD 1F53 CALL 1F53
E0CF CD 20E8 CALL 20E8
E0D2 C5 PUSH B
E0D3 05 PUSH 0
E0D4 CD E159 CALL E159
E0D7 CD 21A0 CALL 21A0
E0DA 2A D170 LHLD D170
E0DD 22 EC41 SHLD EC41
E0E0 CD 2214 CALL 2214
E0E3 2A D164 LHLD D164
E0E6 44 MOV B,H
E0E7 40 MOV C,L
E0E8 2A D166 LHLD D166
E0EB EB XCHG
E0EC CD 1F53 CALL 1F53
E0EF 2A D168 LHLD D168
E0F2 44 MOV B,H
E0F3 40 MOV C,L
E0F4 2A D16A LHLD D16A
E0F7 EB XCHG
E0FB CD 1DE6 CALL 1DE6
E0FB CD 20E8 CALL 20E8
E0FE CD 1F53 CALL 1F53
E101 01 POP 0
E102 C1 POP B
E103 CD 1FB7 CALL 1FB7
E106 21 E18E LXI H,E18E
E109 34 INR M
E10A 7E MOV A,M
E10B C6 CF ADI CF
E10D D2 E13A JNC E13A
E110 36 00 MVI M,00
E112 CD 20E8 CALL 20E8
E115 60 MOV H,B
E116 69 MOV L,C
E117 22 D200 SHLD D200
E11A EB XCHG
E11B 22 D202 SHLD D202
E11E CD 28D0 CALL 28D0
E121 CD E174 CALL E174
E124 2A D200 LHLD D200
E127 7C MOV A,H
E128 32 EC44 STA EC44
E12B 7D MOV A,L
E12C 32 EC43 STA EC43
E12F 2A D202 LHLD D202
E132 7C MOV A,H
E133 32 EC42 STA EC42
E136 7D MOV A,L
E137 32 EC41 STA EC41
E13A 2A D16C LHLD D16C
E13D 44 MOV B,H
E13E 40 MOV C,L
E13F 2A D16E LHLD D16E
E142 EB XCHG
E143 CD 1F53 CALL 1F53
E146 CD 21A0 CALL 21A0
E149 2A EC41 LHLD EC41
E14C 01 0800 LXI B,0800
E14F 09 DAD B
E150 7C MOV A,H
E151 03 80 OUT 80
E153 7D MOV A,L
E154 03 B1 OUT B1
E156 C3 E080 JMP E080
E159 E5 PUSH H
E15A 21 0000 LXI H,0000
E15D 22 EC3D SHLD EC3D
E160 22 EC3F SHLD EC3F
E163 22 EC41 SHLD EC41
E166 22 EC43 SHLD EC43
E169 E1 POP H
E16A C9 RET
E16B 7E MOV A,M
E16C A7 ANA A
E16D C8 RZ
E16E CD 3E0D CALL 3E0D
E171 23 INX H
E172 18 F7 JMPR E168
E174 1E 22 MVI E,22
E176 7E MOV A,M
E177 A7 ANA A
E178 C8 RZ
E179 57 MOV D,A
E17A 01 EF87 LXI B,EF87
E17D 1C INR E
E17E 7B MOV A,E
E17F 02 STAX B
E180 01 EF86 LXI B,EF86
E183 3E 07 MVI A,07
E185 02 STAX B
E186 7A MOV A,D
E187 CD 3E0D CALL 3E0D
E18A 23 INX H
E18B 18 E9 JMPR E176

```